

21

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN DIANZI JISHU GUIHUA JIAOCAI

世纪高职高专电子技术规划教材

电路基础

王俊鹏 主编

- 引入工程实践
- 突出基本概念
- 注重技能训练

免费提供

电子教案
习题解答



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高职高专电子技术规划教材

电路基础

王俊鹏 主编

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/王俊鹏主编. —北京:人民邮电出版社, 2005. 8

21 世纪高职高专电子技术规划教材

ISBN 7-115-13468-5

I. 电... II. 王... III. 电路理论—高等学校:技术学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 085595 号

内 容 提 要

本书共分 8 章, 内容包括电路的基本概念和基本定律、电阻电路的分析、正弦电流电路、互感电路的分析、三相电路、非正弦周期电流电路、线性电路过渡过程的时域分析、线性电路过渡过程的复频域分析等, 附录为电路分析实训材料——PSpice 实现。

本书在编写中着重基本概念、基本原理和基本分析方法的介绍, 突出工程应用, 力图做到基本概念叙述清楚准确, 理论联系实际, 例题丰富, 文字通俗易懂, 便于自学。

本书可作为高职高专院校电子信息类及相关专业的教材, 也可供有关工程技术人员参考。

21 世纪高职高专电子技术规划教材

电路基础

-
- ◆ 主 编 王俊鹏
责任编辑 赵慧君
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 18
字数: 429 千字 2005 年 8 月第 1 版
印数: 4 001—6 000 册 2006 年 9 月河北第 2 次印刷

ISBN 7-115-13468-5 /TN · 2508

定价: 24.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

21 世纪高职高专电子技术规划教材

编 委 会

主 任 王俊鹄

副 主 任 张惠敏 向 伟

编 委 (以姓氏笔画为序)

朱乃立 阮友德 许恒玉 苏本庆 余本海

李存永 肖 琰 邱寄帆 张新成 林训超

胡修池 胡起宙 赵慧君 曾令琴 韩 丽

程 勇 潘春燕

丛书出版前言

遵照教育部提出的以就业为导向，高职高专教育从专业本位向职业岗位和就业为本转变的指导思想，人民邮电出版社协同一些高职高专院校和相关企业共同开发了 21 世纪高职高专电子技术规划教材。

随着职业教育在我国不断深化，各高职高专院校越来越关注人才培养的模式与专业课程设置，越来越关心学生将来的就业岗位，并开始注重培养学生的职业能力。但是我们看到，高职高专院校所培养的人才与市场需要的技术应用型人才仍存在差距。那么如何在保证知识体系完整性的同时，能在教材中体现正在应用的技术、正在发展的技术和前沿的技术成了本套教材探讨的重点，为此我们在如下几个方面做了努力和尝试。

1. 针对电子类专业基础课程较经典，及知识点又相对统一、固定的特点，采取本科老师与高职高专老师合作编写的方式，借助本科老师在理论方面深厚的功底，在写作质量上进行把关，高职高专老师则发挥其熟悉职业教育教学需求的优势把握教材的广度与深度，力图解决专业基础课程理论与应用相结合的目的。

2. 高职高专教育培养的人才面向生产、管理第一线，是技术型人才，基础课程的教学应以必需、够用为原则，以掌握概念、强化应用为教学重点，注重岗位能力的培养。本套教材在保证基本知识点讲解的同时，掌握“突出基本概念，注重技能训练，强调理论联系实际，加强实践性教学环节”的原则，在内容安排上避免复杂的数学推导和计算。

3. 专业课程引入工程实例，强化培养职业能力。让学生了解在实际工作中利用单片机和 PLC 做项目的流程，并通过一系列小的实例逐步让学生产生学习兴趣，并了解开发过程，最后通过一个大的完整案例对学生进行综合培训，从而达到对职业能力的培养。

以上这些仅是高职高专教材出版的初步。如何配合学校做好为国家培养人才的工作，出版高质量的教材将是我们不断追求和奋斗的目标。

我们衷心希望，关注高等职业教育的广大读者能对本套教材的不当之处给予批评指正，提出修改意见，同时也热切盼望从事高等职业教育的老师、企业专家和我们联系，共同探讨相关专业的教学方案和教材编写等问题。来信请发至 zhaohuijun@ptpress.com.cn。

21 世纪高职高专电子技术规划教材编委会

2005 年 8 月

编者的话

针对高职高专培养技能型、应用型人才的特点,基础课程的教学要以应用为目的,以必需、够用为度,以掌握概念、强化应用为教学重点等要求。本书在内容上以工程实践中正在使用和近期有可能推广使用的基础理论为主,即以传统电路理论为主,也涉及个别现代电路理论的内容,着重基本概念、基本原理和基本分析方法的介绍,并突出工程应用。在编写中力图做到基本概念叙述清楚准确,理论联系实际,不追求系统上的完整性和理论上的严密性,尽量避免繁琐的数学推导,例题比较丰富,并选用了一部分联系实际的例题和习题,文字通俗易懂,便于自学,充分体现了高职高专特色。

本书共分8章,内容包括电路的基本概念和基本定律、电阻电路的分析、正弦电流电路、互感电路的分析、三相电路、非正弦周期电流电路、线性电路过渡过程的时域分析、线性电路过渡过程的复频域分析等,附录中有电路分析实训材料——PSpice实现。选讲内容标有“*”。

本书由郑州大学王俊鹏教授担任主编并编写第1章、第2章2.8节至2.10节,梁占红编写第3章3.15节,河南职业技术学院孙德胜编写第3章3.1节至3.14节,田红彬编写第5章,郑州电力高等专科学校王昭慧编写第2章2.1节至2.7节、2.11节至2.12节和附录,河南机电高等专科学校董作霖编写第6章、第7章、第8章,王建玲编写第4章。本书由郑州大学高金峰教授担任主审,并提出许多宝贵的意见,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,请读者批评指正。

编者

2005年7月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路与电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 理想电路元件	2
1.1.3 电路模型	3
1.2 电路的主要物理量	3
1.2.1 电流及其参考方向	3
1.2.2 电压、电位、电动势及其参考方向	4
1.2.3 电功率与电能	6
1.3 电阻元件及欧姆定律	8
1.3.1 电阻元件	8
1.3.2 线性电阻元件与欧姆定律	8
1.3.3 线性电阻元件的功率	9
1.3.4 电气设备的额定值	10
1.4 电压源与电流源	11
1.4.1 理想电压源	11
1.4.2 理想电流源	12
1.5 基尔霍夫定律	13
1.5.1 电路的几个常用名词	14
1.5.2 基尔霍夫电流定律	14
1.5.3 基尔霍夫电压定律	16
1.6 电路中各点电位的计算	20
本章小结	21
习题	23
第 2 章 电阻电路的分析	26
2.1 二端网络等效的概念	26
2.2 电阻的串联和并联电路的等效变换	27
2.2.1 电阻的串联	27
2.2.2 电阻的并联	28
2.2.3 电阻的混联	30
2.3 电阻的星形连接和三角形连接的等效变换	33
2.4 两种电源模型及其等效变换	36

2.4.1	实际电源的电压源模型	36
2.4.2	实际电源的电流源模型	36
2.4.3	实际电源两种模型的等效变换	37
2.4.4	电源支路的串、并联	38
2.5	支路电流法	41
2.5.1	支路电流法	41
2.5.2	支路电流法的计算步骤	42
2.6	网孔分析法	44
2.6.1	网孔方程	44
2.6.2	网孔分析法的计算步骤	45
2.6.3	含电流源支路时的求解方法	46
2.7	节点分析法	47
2.7.1	节点方程	47
2.7.2	节点分析法的计算步骤	48
2.7.3	含电压源支路时的求解方法	51
2.8	叠加定理	53
2.8.1	叠加定理	53
2.8.2	齐(次)性定理	56
2.9	戴维南定理与诺顿定理	57
2.9.1	二端网络及其等效电路	57
2.9.2	戴维南定理	58
2.9.3	诺顿定理	61
2.10	最大功率传输定理	63
2.11	受控源	64
2.12	含受控源电路的分析计算	67
2.12.1	受控源的等效变换	67
2.12.2	网孔分析法在含受控源电路中的应用	69
2.12.3	节点分析法在含受控源电路中的应用	69
2.12.4	叠加定理在含受控源电路中的应用	70
2.12.5	等效电源定理在含受控源的有源二端网络中的应用	71
	本章小结	73
	习题	76
第3章	正弦电流电路	83
3.1	正弦交流电的基本概念	83
3.1.1	正弦交流电量的三要素	84
3.1.2	相位差	85
3.1.3	有效值	86
3.2	电容元件和电感元件	87
3.2.1	电容元件	87

3.2.2	电感元件	90
3.3	复数	93
3.3.1	复数的表示形式	93
3.3.2	复数的四则运算	94
3.4	正弦交流电的相量表示法	95
3.4.1	正弦量的旋转相量表示法	95
3.4.2	用相量来表示正弦量	96
3.4.3	用相量求正弦量的和与差	97
3.5	正弦电流电路中的电阻、电感和电容	99
3.5.1	电阻元件伏安关系的相量形式	99
3.5.2	电感元件伏安关系的相量形式	101
3.5.3	电容元件伏安关系的相量形式	103
3.6	基尔霍夫定律的相量形式	106
3.7	电阻、电感、电容的串联及阻抗	108
3.7.1	RLC 串联电路的电压与电流关系、阻抗	108
3.7.2	电路的性质	109
3.7.3	RLC 串联电路的相量图	109
3.8	电阻、电感、电容的并联及导纳	111
3.8.1	RLC 并联电路的电压与电流关系、导纳	111
3.8.2	电路的性质	113
3.8.3	RLC 并联电路的相量图	113
3.9	负载及实际元件的电路模型	115
3.9.1	负载的等效阻抗与等效导纳、阻抗和导纳的等效变换	115
3.9.2	实际元件的电路模型	116
3.10	阻抗的串联和并联	118
3.11	正弦电流电路中的功率	121
3.11.1	瞬时功率	121
3.11.2	平均功率 (有功功率)	123
3.11.3	无功功率	123
3.11.4	视在功率	124
3.11.5	复功率	124
3.12	功率因数的提高	127
3.12.1	提高功率因数的意义	127
3.12.2	提高功率因数的方法	127
3.13	复杂正弦电流电路的分析	129
3.14	交流电路中的谐振	133
3.14.1	串联谐振	133
3.14.2	并联谐振	136
*3.15	二端口网络	138

3.15.1	二端口网络的概念	138
3.15.2	二端口网络的导纳参数和阻抗参数	139
3.15.3	二端口网络的传输参数和混合参数	144
3.15.4	端接二端口网络的分析	148
	本章小结	151
	习题	155
第4章	互感电路的分析	161
4.1	互感元件	161
4.1.1	互感的基本概念	161
4.1.2	互感电压	162
4.1.3	耦合电感线圈上的电压、电流关系	162
4.1.4	同名端的标示	163
4.2	具有互感的正弦电流电路的分析	164
4.2.1	互感线圈的串联	165
4.2.2	互感线圈的T型等效	166
4.2.3	具有互感电路的一般分析方法	166
4.3	空心变压器	168
4.4	理想变压器	169
4.4.1	变压器的理想化模型	169
4.4.2	理想变压器的主要性能	170
4.4.3	含理想变压器电路的分析	171
	本章小结	172
	习题	173
第5章	三相电路	174
5.1	三相电源和三相负载	174
5.1.1	对称三相电源	174
5.1.2	三相电源的连接	176
5.1.3	三相负载的连接	178
5.2	对称三相电路的分析	181
5.2.1	负载星形接法的三相电路	181
5.2.2	负载三角形接法的三相电路	184
5.3	三相电路的功率	186
5.3.1	对称三相电路的瞬时功率	186
5.3.2	三相电路的平均功率(有功功率)	187
5.3.3	三相电路的无功功率	188
5.3.4	三相电路的视在功率	188
	本章小结	190
	习题	191
第6章	非正弦周期电流电路	193

6.1	非正弦周期电流	193
6.2	周期函数分解为傅里叶级数	194
6.2.1	周期函数的傅里叶级数	194
6.2.2	波形对称性与傅里叶级数系数的关系	195
6.3	非正弦周期量的有效值、平均值和平均功率	198
6.3.1	非正弦周期量的有效值	198
6.3.2	非正弦周期量的平均值	199
6.3.3	非正弦周期电流电路的平均功率	199
6.4	非正弦周期电流电路的分析	200
	本章小结	202
	习题	203
第7章	线性电路过渡过程的时域分析	205
7.1	过渡过程的基本概念	205
7.2	换路定律和初始值计算	205
7.2.1	换路定律	205
7.2.2	初始值的计算	206
7.3	一阶电路的零输入响应	208
7.3.1	RC 电路的零输入响应	208
7.3.2	RL 电路的零输入响应	210
7.4	一阶电路的零状态响应	214
7.4.1	RC 电路的零状态响应	214
7.4.2	RL 电路的零状态响应	215
7.5	一阶电路的全响应	218
7.5.1	全响应的两种分解	218
7.5.2	分析一阶电路全响应的三要素法	220
7.6	阶跃函数和一阶电路的阶跃响应	222
7.6.1	阶跃函数	222
7.6.2	一阶电路的阶跃响应	223
7.7	二阶电路的零输入响应	224
7.7.1	RLC 串联电路零输入响应的方程	224
7.7.2	RLC 串联电路零输入响应方程的解	225
	本章小结	229
	习题	229
第8章	线性电路过渡过程的复频域分析	232
8.1	拉普拉斯变换及其基本性质	232
8.1.1	拉普拉斯变换	232
8.1.2	拉普拉斯变换的性质	233
8.2	拉普拉斯反变换	234
8.2.1	查表法	234

8.2.2 部分分式展开法	234
8.3 线性电路的复频域分析	237
8.3.1 用拉氏变换求解描述线性电路的微分方程	238
8.3.2 电路元件的复频域模型	238
8.3.3 基尔霍夫定律的复频域形式	240
8.3.4 欧姆定律的复频域形式	240
8.3.5 线性电路的复频域分析	241
本章小结	242
习题	243
附录 电路分析实训——PSpice 电路仿真	245
附 1 PSpice 简介	245
附 1.1 电路模拟仿真的基本过程	245
附 1.2 用 PSpice 进行电路分析仿真的内容	246
附 1.3 PSpice 支持的元器件类型	246
附 1.4 使用 PSpice 过程中应注意的问题	247
附 2 用 PSpice 绘制电路原理图	249
附 3 用 PSpice 计算直流电阻电路	255
附 4 用 PSpice 分析戴维南等效电路	260
附 5 用 PSpice 分析动态电路	264
附 6 用 PSpice 分析正弦稳态电路	271
参考文献	275

第 1 章

电路的基本概念和基本定律

本章的内容是贯穿全书的重要理论基础,介绍电路与电路模型,电路的基本物理量,电流、电压参考方向的概念,以及作为进行电路分析基本依据的基尔霍夫定律和元件伏安关系等概念,并具体介绍三种基本的电路元件——电阻、电压源与电流源。最后,还将介绍电路中各点电位的计算。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路

电路是电流的通路,它是由某些电工设备或元件按一定方式连接起来为人们生产、生活完成某种功能的物质实体。较复杂的电路又称为电网络。“电路”和“网络”这两个术语通常是相互通用的。

电路根据其基本功能可以分为两大类。

一类用来实现电能的传输和转换。最典型的例子是电力系统,其电路示意图如图 1.1 (a) 所示,它包括电源、负载和中间环节三个组成部分。

发电机是电源,是供应电能的设备。在发电厂内可把热能、水能或核能转化为电能。除发电机外,电池也是常见的电源。

电灯、电动机及电炉等都是负载,是取用电能的设备,它们分别把电能转化为光能、机械能及热能等。

变压器、输电线、开关及一些保护设备是中间环节,它们是连接电源和负载的部分,起传输与分配电能和控制与保护电气设备的作用。

另一类用来实现信号的传递和处理。常见的例子如扩音机,其电路示意图如图 1.1 (b) 所示。它将话筒施加的信号经过放大器的放大,送到扬声器输出。话筒把语言或音乐(通常称为信息)转换为相应的电压和电流(电信号),是输出信号的设备,称为信号源,相当于电源,但与上述的发电机、电池这种电源不同,信号源输出的电信号的变换规律是取决于所加信息的。扬声器把电信号还原为语言或音乐,是接收和转换信号的设备,也就是负载。由于话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因而采用中间环节放大器来放大,对信号起传递和放大作用。信号的这种转换和放大,称为信号的处理。收音机和电视机也是

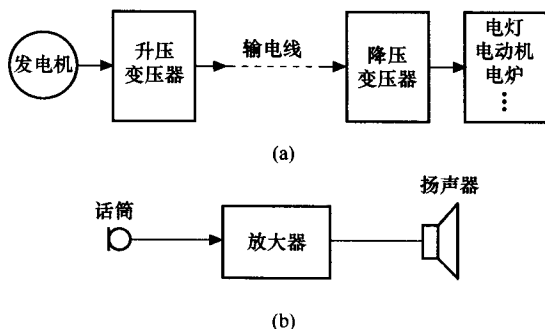


图 1.1 电路示意图

一种信号传递和处理电路，它们的接收天线（信号源）把载有语言、音乐、图像信息的电磁波接收后转换为相应的电信号，经过调谐、变频、检波、放大等中间环节送到扬声器和显像管（负载），还原为原始信号。

不论是电能的传输和转换，还是信号的传递和处理，其中电源或信号源的电压或电流，被称为激励，它推动电路的工作；而激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析，就是在已知电路的结构和元件参数的条件下，讨论电路的激励和响应之间的关系。

1.1.2 理想电路元件

组成实际电路的电路元件或器件（如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管、电子管以及各种电阻器、电感器和电容器等），其电磁性能比较复杂，为便于分析研究，常常在一定条件下，将实际元件理想化（或称为模型化），突出其主要电磁性质，忽略其次要因素，把它近似地看作理想电路元件。例如在图 1.2 (a) 所示手电筒电路中，电珠不但发热而消耗电能，并且在其周围还会产生一定的磁场，若只考虑其主要消耗电能的性质而忽略其磁场，可以将电珠抽象为一个只有耗能特性的理想化电阻元件，其参数为电阻 R 。干电池不但在其正负极间保持恒定的电压为电珠提供电能，而且其内部也有一定的电能损耗，可以将其提供电能的性能用电压源元件表示，其参数为 U_S ，而内部电能损耗的性能用电阻元件表示，其参数为内阻 R_0 。筒体与开关是连接干电池与电珠的中间环节，其电阻忽略不计，认为是一个无电阻的理想导体，这样就得到图 1.2 (b) 所示手电筒的电路模型。

如上所述，在一定条件下，用足以反映其电磁性能的一些理想电路元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件。理想电路元件是一种理想化的模型，简称电路元件。要求这些电路元件只包含单一的电磁关系，即每个元件仅有一个电磁约束关系，且电磁过程均发生在元件内部，所以在任何时刻，从具有两个

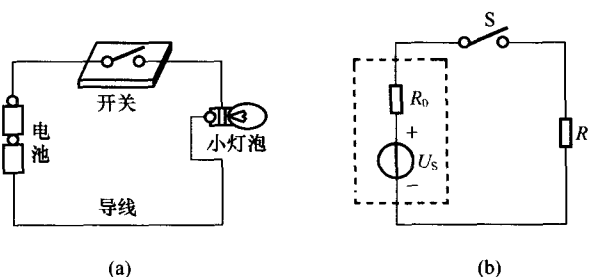


图 1.2 手电筒电路及其电路模型

端钮的理想元件的某一端钮流入的电流恒等于从另一端钮流出的电流，并且元件两个端钮间的电压值也是完全确定的。凡端钮处的电流和端钮间的电压满足上述情况的电路元件称为集中参数元件，又称为集总参数元件。本书所涉及的理想电路元件有 8 种，即电阻元件、电压源元件、电流源元件、受控源元件、电感元件、电容元件、耦合电感元件和理想变压器元件。每种元件都有自己的数学形式定义，在电路（模型）图中，各种电路元件用规定的图形符号表示，图 1.3 所示为 5 种常见的理想电路元件。图 1.3 (a) 为电阻元件，图 1.3 (b) 为电感元件，图 1.3 (c) 为电容元件，它们都是无源元件；而图 1.3 (d) 是电压源元件，图 1.3 (e) 是电流源元件，它们都是有源元件。

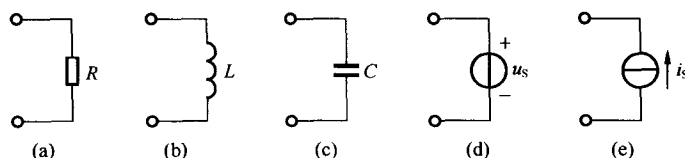


图 1.3 5 种理想电路元件的电路模型

上述这些电路元件通过引出端互相连接,对具有两个引出端的元件,称为二端元件;对具有两个以上引出端的元件,称为多端元件。

1.1.3 电路模型

实际电路可以由一个或若干个电路元件经理想导体连接起来模拟,这便构成了电路模型。它是由集中参数元件构成的,故称为集中参数电路。这里再次强调,本课程所研究的是电路模型,而不是实际电路。对于电路模型的概念,再做以下几点补充。

(1) 电路模型是实际电路的科学抽象,是理想化的模型。它反映实际电路主要的电磁关系,并能用精确的数学式来表达,从而能较方便地通过对电路模型的分析推断出实际电路的主要性能。

(2) 由于人们对实际电路的电磁关系认识程度不同和分析计算所要求的精确度不同,因而对同一个电路可能会得出不同的电路模型,所以电路模型都有一定的适用条件,如电压、电流和工作频率范围等。不同的使用场合和不同的精度要求,需要相适应的电路模型。一般地讲,模型越复杂,计算的精确度越高,分析也越繁琐。

本书只讨论在给定电路模型情况下的电路分析问题,至于如何建立电路模型已超出本书讨论的范围。

【练习与思考】

- 1.1.1 电路的基本功能是什么?它由哪几部分组成,各部分的作用是什么?
- 1.1.2 什么是理想电路元件?集中参数元件?
- 1.1.3 电路模型是如何构成的?建立电路模型时应注意哪些问题?

1.2 电路的主要物理量

电路的主要物理量有电流、电压和功率等。

1.2.1 电流及其参考方向

电荷(电子、离子等)有规则的定向移动形成电流。电流的大小是用单位时间内通过导体某一横截面的电量进行衡量的,称为电流强度,用符号 i 表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

当电流 i 的大小和方向均不变时,称为直流电流,简称为直流(DC),常用大写的 I 表示,相应地有

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

随时间作周期性变动且平均值为零的电流称为交流电流,简称为交流(AC)。

本书中的物理量采用国际单位制(SI)单位,电量 q 的单位是库仑(C),时间 t 的单位是秒(s),则电流 i 的单位是安培(A)。电流还有较小的单位毫安(mA)、微安(μ A)和纳安(nA),它们之间的换算关系为

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

电流是有方向的，习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向为电流的实际方向。电流的方向是客观存在的，但在分析较为复杂的直流电路时，往往难于事先判断某支路中电流的实际方向；对交流电而言，其方向随时间而变，在电路图上无法用一个箭头来表示它的实际方向。为此，在分析与计算电路时，常可任意选定某一方向作为电流的参考方向，或称为正方向。所选电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致，当电流的实际方向与其参考方向一致时，则电流为正值（如图 1.4 (a) 所示）；反之，当电流的实际方向与其参考方向相反时，则电流为负值（如图 1.4 (b) 所示）。因此，在参考方向选定之后，电流就成为一数量，其值才有正负之分。这样，就可以利用电流的参考方向和正负值来确定电流的实际方向。电流的参考方向在电路图中用箭头表示，也可以用双下标表示，例如 i_{ab} 表示参考方向由 a 到 b，而 i_{ba} 表示参考方向由 b 到 a，显然有 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

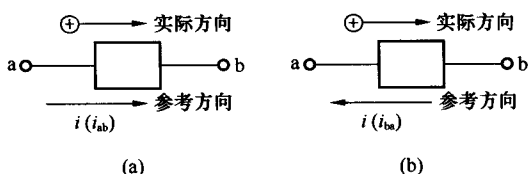


图 1.4 电流的参考方向

例 1.1 试分别指出图 1.5 (a)、(b)、(c) 所示二端元件中电流的实际方向。

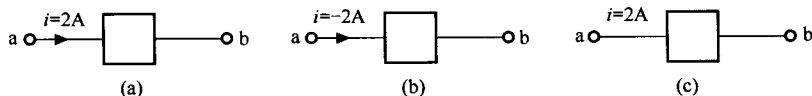


图 1.5 例 1.1 电路

解 图 1.5 中电流的实际方向分别为

- (a) 由 a 至 b；
- (b) 由 b 至 a；
- (c) 不能确定。因为没有给出电流的参考方向。

例 1.2 试分别画出图 1.6 (a)、(b) 所示二端元件电流的参考方向：已知 (a) 中电流的实际方向为由 a 至 b，图 1.6 (b) 中电流的实际方向为由 b 至 a。

解 图 1.6 (a) 中电流的参考方向应为由 a 至 b；

图 1.6 (b) 中电流的参考方向也应为由 a 至 b。

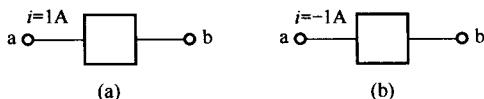


图 1.6 例 1.2 电路

1.2.2 电压、电位、电动势及其参考方向

电荷在电场力的作用下，顺着或逆着电场力的方向运动，电场力做功，将电能转变为其他形式的能量。电压是用来描述电场力做功的物理量，电路中 a、b 两点之间的电压 u_{ab} 在数值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功，也就是所减少的电能，即

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-3)$$

式中， dq 为由 a 点移动到 b 点的电荷， dw 为移动过程中电荷所减少的电能。

若任取一点 o 作为参考点, 则由某点 a 到参考点 o 的电压 u_{ao} 就称为 a 点的电位 V_a 。电路中某点的电位在数值上等于电场力将单位正电荷由该点沿任意路径移动到参考点所做的功。电位参考点可以任意选取, 常选择大地、设备外壳或接地点作为参考点。在一个连通的系统中只能选择一个参考点, 参考点电位为零。电路的参考点一经选定, 电路中其余各点的电位都将有惟一确定的数值, 这称为电位的单值性原理。电路任意两点之间的电压就等于这两点的电位差, 即

$$u_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

选取不同的参考点, 同一点的电位值将不同, 而两点之间的电压与参考点的位置无关。

电压也是有方向的, 它的实际方向习惯上规定为电能减少的方向, 即电位降低 (从高电位点到低电位点) 的方向。

在电场力作用下, 正电荷只能从高电位向低电位运动。为了形成连续的电流, 在电源中正电荷必须从低电位点移动到高电位点。这就要求在电源中有一个电源力作用在电荷上, 使之逆电场力方向运动, 反抗电场力做功, 并把其他能量转换成电能。例如在发电机中, 当导体在磁场中运动时, 导体内便出现这种电源力; 在电池中, 电源力存在于电极之间。电动势是用来描述电源力做功的物理量。在电源中, 电动势 e 在数值上等于将单位正电荷由电源负极经电源内部移动到电源正极所做的功, 也就是增加的电能, 即

$$e = \frac{dw_s}{dq} \quad (1-5)$$

式中, dq 为移动的电荷, dw_s 为移动过程中电荷所增加的电能。

电动势的实际方向习惯上规定为电能增加的方向, 即电位升高 (从低电位点到高电位点) 的方向, 也即由电源的负极指向正极。对于一个实际电源来说, 当没有电流流过, 内部没有电能消耗时, 其电动势和端电压 (正负极之间的电压) 必定是大小相等, 方向相反。

当电压 u 或电动势 e 的大小和方向均不变时, 称为直流电压、直流电动势, 分别用大写的 U 或 E 表示, 相应地有

$$U_{ab} = \frac{W}{Q}, \quad E = \frac{W_s}{Q} \quad (1-6)$$

当电能 w 、 w_s 的单位是焦耳 (J), 电量 q 的单位是库仑 (C) 时, 则电压 u 、电动势 e 的单位为伏特 (V)。较大的单位有千伏 (kV), 较小的单位有毫伏 (mV)、微伏 (μ V) 等, 它们之间的换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}, \quad 1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

与电流类似, 在分析与计算电路时, 可任意选定一个方向为电压、电动势的参考方向, 或称为正方向, 在电路图中, 可用箭头、双下标或正负极性标出, 如图 1.7 所示, 也称为参考极性。

选定参考方向后, 电压、电动势就成为代数量。若参考方向与实际方向一致, 则电压、电动势为正值; 若不一致, 则电压、电动势为负值。故根据预先任意选定的电压、电动势的参考方向及带正负值的数值, 便可确定电压、电动势的实际方向。显然, 在图 1.7 中有

$$u = u_{ab} = -u_{ba}, \quad e = e_{ba} = -e_{ab} \quad (1-7)$$

对于同一个开路的电源, 当端电压、电动势取相反的参考方向时

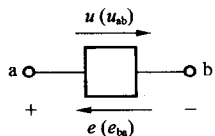


图 1.7 电压和电动势的参考方向